

ORIGINAL

Considerations for the calculation of the water quality risk Index according to current sanitary and epidemiological trends

Consideraciones para el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas

José Luis Guataquira Rincón¹, René Ricardo Cuéllar Rodríguez¹

¹Corporación Universitaria Del Meta, Facultad de Ingeniería Ambiental. Villavicencio - Meta, Colombia.

Citar como: Guataquira Rincón JL, Cuéllar Rodríguez RR. Considerations for the calculation of the Water Quality Risk Index according to current sanitary and epidemiological trends. Environmental Research and Ecotoxicity. 2023; 2:58. <https://doi.org/10.56294/ere202358>

Enviado: 10-09-2022

Revisado: 28-01-2023

Aceptado: 12-05-2023

Publicado: 13-05-2023

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

ABSTRACT

The prevalence of occasional epidemics associated with waterborne diseases, the presence of chemical contaminants (organic, inorganic, and heavy metals) in bodies that supply water for human consumption due to different anthropogenic activities of an industrial, agricultural, livestock, and care type. human. These contaminants have accumulated until they can be detected by current procedures and equipment, as well as to reach concentrations that can generate diseases. In this sense, the Water Quality Risk Index (IRCA) established by Resolution 2115 of 2007 proposes admissible parameters for drinking water of a microbiological, physical, and chemical nature, parameters that need to be reviewed to update the water monitoring instrument. drinking water supplied to the population. The different water quality indices are compared with respect to the number and frequency of criterion parameters, the reference values, and the methods for calculating the indices for common parameters. Likewise, the inclusion of other parameters associated with emerging contaminants associated with pesticides and microbial agents is analyzed. As a consequence of the investigation, parameters to be included are proposed, such as fecal coliforms, somatic coliphages, V Hepatitis A, OD, BOD, Cd, As, Hg, Pb, Zn, Cu and pesticides for which values have already been described admissible.

Keywords: Water Quality Indices; Emerging Contaminants.

RESUMEN

La prevalencia de epidemias ocasionales asociados a enfermedades transportadas por el agua, la presencia de contaminantes químicos (orgánicos, inorgánicos y metales pesados) en los cuerpos abastecedores de agua para consumo humano por diferentes actividades antrópicas de tipo industrial, agrícolas, pecuarias, y del cuidado humano. Dichos contaminantes, se han acumulado hasta poderse detectar por los procedimientos y quipos actuales, así como para alcanzar concentraciones que pueden generar enfermedades. En este sentido el índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) establecido por la Resolución 2115 del 2007 propone unos parámetros admisibles para el agua potable de tipo microbiológico, físico y químico, parámetros que es necesario revisar para actualizar el instrumento de seguimiento al agua potable suministrada a la población. Se comparan los distintos índices de calidad del agua respecto al número y frecuencia de parámetros criterio, los valores de referencia, y los métodos cálculo de los índices para los parámetros comunes. Así mismo se analiza la inclusión de otros parámetros asociados a contaminantes emergentes asociados a plaguicidas y agentes microbianos. Como consecuencia de la indagación se propone parámetros a incluir como lo son los coliformes fecales, colifagos somáticos, V Hepatitis A, OD, DBO, Cd, As, Hg, Pb, Zn, Cu y los plaguicidas para los cuales ya se han descrito valores admisibles.

Palabras clave: Índices de Calidad del Agua; Contaminantes Emergentes.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un aspecto esencial para garantizar la salud pública, la preservación de los ecosistemas y el desarrollo sostenible de las sociedades. A nivel global, diversas metodologías han sido desarrolladas para evaluar este recurso, a través de la creación de índices de calidad del agua (ICA) que permiten sintetizar información compleja en indicadores comprensibles para la toma de decisiones. En Colombia, uno de los instrumentos más utilizados es el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), el cual busca establecer el nivel de riesgo sanitario del agua suministrada a la población.^(1,2,3,4,5,6,7,8)

Sin embargo, el IRCA, a pesar de ser una herramienta ampliamente implementada en el país, ha sido objeto de análisis crítico frente a otros índices internacionales que integran un mayor número de parámetros y criterios de evaluación.^(9,10,11,12) Algunos de estos índices, como el WQI de la National Sanitation Foundation (WQINSF), el índice de Dinius, el ICAUCA, el UWQI, el ISCA, el IAP y el índice AMOEBA, han servido como referentes para comparar enfoques de medición de la calidad del agua desde perspectivas tanto cuantitativas como cualitativas.^(13,14,15,16) Estos indicadores suelen considerar variables microbiológicas, físicas, químicas (inorgánicas y orgánicas), plaguicidas y, en algunos casos, sustancias radioactivas, con ponderaciones y rangos de valores establecidos por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la Unión Europea y Japón.^(17,18,19,20)

Este estudio plantea una revisión detallada del IRCA en comparación con los mencionados índices y con los estándares internacionales, evaluando no solo la presencia o ausencia de determinados parámetros, sino también los valores de referencia adoptados y su pertinencia en el contexto colombiano.^(21,22,23,24,25) De igual forma, se examina la relevancia de incluir contaminantes emergentes, enfermedades transmitidas por el agua y agentes patógenos actualmente no contemplados en el IRCA. La identificación de vacíos, limitaciones o posibles mejoras en este índice es clave para fortalecer las políticas públicas en salud ambiental y optimizar los sistemas de vigilancia de la calidad del agua potable.^(26,27,28,29,30,31,32)

En este marco, el presente trabajo propone una evaluación técnica del IRCA, destacando los elementos fundamentales que deberían ser revisados o incorporados para garantizar una mejor aproximación al riesgo sanitario y una mayor alineación con los estándares internacionales más actualizados.^(33,34,35)

Objetivo

Proponer parámetros y ponderaciones que deben considerarse en el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua según las tendencias actuales sanitarias y epidemiológicas

MÉTODO

Comparación de los índices de calidad del agua

La comparación del IRCA respecto a distintos índices de calidad de agua y estándares de calidad a nivel internacional se realizó de forma cualitativa y cuantitativa mirando que parámetros son los que se analizan con mayor frecuencia con los indicadores de calidad de agua y comparando cuales son contemplados según los estándares internacionales permitiendo identificar la relevancia de los parámetros y las tendencias en calidad del agua.

Comparación cualitativa

Se comparará el IRCA respecto a los índices WQINSF, Dinius, ICAUCA, DWQIUWQI, ISCA, IAP, IRCA, AMOEBA cotejando los parámetros, físicos, químicos, biológicos que tienen en cuenta mediante un análisis del número de parámetros por índice y la frecuencia de estos entre los distintos índices.

Así mismo, se cotejan los valores de referencia empleados para el cálculo IRCA respecto a los índices WQINSF, Dinius, ICAUCA, DWQIUWQI, ISCA, IAP, IRCA, AMOEBA por medio de valores máximos o rangos según parámetro.

Así mismo, se compara el IRCA respecto a los estándares de calidad de agua descritos en los documentos "Armonización de los estándares de agua potable en las Américas (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2005)" "Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA 2015), Ley de suministro de agua (Japón, 2013) y la Directiva 2020/2184/CE Relativas a la calidad y métodos de medición, frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable (Comunidad Europea 2020).

Comparación cuantitativa

Según los parámetros comunes de los índices WQINSF, Dinius, ICAUCA, DWQI, UWQI, ISCA, IAP, y AMOEBA con el IRCA se toman sus valores de referencia (el valor de la variable estandarizada y su ponderación) y se calculan según su sistema y se comparan con los del IRCA.

Evaluación de las enfermedades vehiculizadas por el agua mediante el informe del Instituto Nacional Salud para ser considerados como parámetros del IRCA.

Teniendo en cuenta el Informe Nacional del Agua del 2022 se determinan los agentes etiológicos causantes de enfermedades relacionadas con enfermedades diarreicas agudas y se comparan respecto a los parámetros de IRCA.

Análisis de los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA

Se revisó el listado CAS de compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones, y a su vez.

RESULTADOS

Comparación de los índices de calidad del agua

Los distintos ICA hacen seguimiento a parámetros de tipo biológicos, físicos y químicos, dentro de estos últimos se podrían clasificar entre inorgánicos y orgánicos, y adicionalmente se podría clasificarse según su origen como plaguicidas o radiactivos entre otros.

Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros biológicos analizados por los índices de calidad del agua

Parámetro	WQI _{NSF}	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBAS	f
Coliformes totales	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3
Coliformes fecales	1	1	1	0	0	0	1	0	0	5
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Cryptosporidium</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Giardia</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Microcistina	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	1	2	1	0	1	0	1	4	1	

En este sentido, los coliformes es un grupo de especies bacterianas gramnegativas, con forma de bastón, no formadoras de esporas, que pueden fermentar la lactosa con producción de ácido y gas cuando se las incubaba a 35-37 °C, y se emplean como indicadores de contaminación del agua y los alimentos; no obstante, no todos los coliformes son de origen fecal.^(36,37,38,39,40) Dado lo anterior, a este grupo pertenecen los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal), definidos como como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44,5 °C +/- 0,2 °C dentro de las 24 +/- 2 horas, y a este grupo pertenecen distintos géneros como *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*.^(41,42,43,44,45,46,47,48) Y finalmente, *E. coli* es la especie más predominante de los coliformes fecales y asociado en un 99 % de los casos de contaminación fecal, y así mismo, dentro de las *E. coli* se encuentran las enteropatógenas, agentes causales de la enfermedad diarreica aguda (EDA) siendo esta desde una diarrea grave a sanguinolenta.^(49,50,51,52,53,54,55)

Por lo tanto, la prevalencia de los coliformes fecales como parámetro de seguimiento se da por ser más específico para determinar la contaminación del cuerpo del agua por materia fecal. Y la escogencia de *E. coli* sería más específica debida a su directa relación con la contaminación fecal y el desarrollo de EDA, no obstante la determinación de esta lleva ser más específica dentro de los procedimientos y por tanto en la complejidad en su determinación.

El IRCA realiza el seguimiento a coliformes totales y *E. coli*, de esta forma analiza de una forma general y específica la posible contaminación del agua y en especial por materia fecal. El índice mas cercano en este análisis es el Dinius, que analiza coliformes totales y coliformes fecales, este analiza de forma general y de forma específica la contaminación del agua por origen fecal ya que abarca de forma específica otras bacterias asociadas a enfermedades gastrointestinales.

Finalmente, el IRCA considera dos parásitos *Giardia lamblia*, intestinalis o duodenalis (protozoo flagelado que reside en el intestino delgado de los mamíferos, es causante de diarreas y anorexia)⁽⁵⁶⁾ y *Cryptosporidium parvum*, hominis, canis, felis, melagredis, muris (protista causante de diarrea crónica y desnutrición)⁽⁵⁷⁾ ambos parásitos son indicadores de contaminación del agua por heces fecales. La consideración de estos casos se da por la prevalencia de estas enfermedades.

Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros físicos analizados por los índices de calidad del agua

Los parámetros físicos se asocian características organolépticas del agua, su presencia es indicativo de un agua no tratada o deficiente para el consumo humano.

En este sentido, la temperatura es uno de los parámetros menos usados ya que puede variar por vertimientos de aguas con una temperatura superior a la de ambiente, como también puede estar asociado a cambios de temperatura por la temporada (épocas cálidas o frías) o ser aguas de origen termal, razón por el cual es uno.

La turbiedad y el color son parámetros que se asocian al contenido de material en suspensión por la fuerza del agua y sustancias disueltas debido al ciclo hidrológico por procesos de arrastre y dilución. Adicionalmente, las sustancias disueltas conllevan a aumentar la conductividad. No obstante, dichos parámetros también se ven afectados por la contaminación incrementándose.

Los anteriores parámetros se relacionan con la característica organoléptica del agua de ser incolora y permitiendo que la luz puede atravesarla. De esta manera, los parámetros son analizados de acuerdo con los estándares del ICA para garantizar que el agua es tratada o reúne las características deseadas para el consumo humano. Dado lo anterior, el parámetro de turbiedad es el segundo a revisar y también debido a su facilidad de medición en campo, no obstante, el conjunto de parámetros de color, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y conductividad acompañan la determinación de turbiedad para la mayoría de los ICA, tabla 2.

El oxígeno disuelto es un indicador del estado de eutrofización de las aguas, donde aguas carentes en oxígeno están asociadas al crecimiento microbiano por los elevados contenidos de materia orgánica y fuentes de nitrógeno y fósforo que consumen el oxígeno en sus procesos metabólicos, y lenticas. Por el contrario, aguas con un porcentaje de oxígeno disuelto son indicador de aguas frescas, loticas, y con una baja contaminación que no da origen a grandes poblaciones microbianas. En este sentido, el oxígeno es el principal parámetro físico para revisar por los distintos ICAS tabla 2.

Tabla 2. Parámetros físicos analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI _{NSF}	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBEA	f
Temperatura	1	1	0	0	0	0	1	0	1	4
Oxígeno disuelto	1	1	1	0	1	1	1	0	1	8
Turbiedad	1	0	1	0	0	0	1	1	1	6
Color	0	1	1	0	0	0	0	1	0	3
Sólidos suspendidos	0	0	1	0	0	1	1	0	0	3
Sólidos disueltos	1	0	1	0	0	0	1	0	0	4
Conductividad	0	1	0	0	0	1	1	0	1	4
Total	4	4	5	0	1	3	6	2	4	

Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros químicos inorgánicos analizados por los índices de calidad del agua

Los índices que contemplan mayor cantidad de parámetros químicos inorgánicos a hacer seguimiento son DWQI, IRCA, AMOEBA y IAP con 18, 17, 16 y 14 parámetros respectivamente. Los índices que comprenden menos parámetros en su análisis son ISCA, INCAUCA, WQINSF, Dinius con 0, 3, 3 y 5 parámetros respectivamente, tabla 4.

El parámetro con mayor frecuencia de análisis por los indicadores es el pH (tabla 3), ya que las aguas demasiado ácidas disuelven los metales pesados (plomo, cobre, zinc) que al ser ingeridos afectan negativamente la salud. Además, valores extremos pH causan irritación en las mucosas y órganos internos, y hasta procesos de ulceración.⁽⁵⁸⁾

Adicionalmente, el nitrato es el segundo parámetro más analizado (tabla 3) ya que el nitrito (NO₂-) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO₃-), lo que significa que el nitrito raramente está presente en el agua. En este sentido, el nitrato es esencial para el crecimiento vegetal, siendo usado como fertilizante y producido industrialmente en grandes cantidades. Lo anterior, lleva a dos formas de contaminación del agua por compuestos nitrogenados, la contaminación puntual debido al sector pecuario, industrial, o urbano (efluentes orgánicos de actividades ganaderas, vertidos industriales, de aguas residuales urbanas), mientras que la contaminación dispersa o difusa solo es debida la actividad agronómica.⁽⁵⁹⁾

Así mismo, se encuentra el parámetro de fósforo total dentro de aquellos mayormente analizados (tabla 3), esto es debido a que el ion fosfato (PO₄-) se forma a partir del fósforo inorgánico como parte del ciclo de este elemento en el ambiente y es considerado un macronutriente vegetal, los cuerpos de agua próximos a suelos agrícolas presentan distintas cantidades de fosfatos aportados por los escorrentía e infiltración del agua lluvia o de riego.⁽⁵⁹⁾

También, se encuentran los parámetros de Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc y Cobre entre los metales pesados más analizados (tabla 3), ya que estos son tóxicos en concentraciones bajas y afectando la salud humana de forma crónica por procesos de bioacumulación. La contaminación de los cuerpos hídricos se da por vertimientos de las actividades mineras, industriales y urbanas.⁽⁶⁰⁾

Adicionalmente, se tienen como parte de los parámetros más analizados los relacionados con el flúor (tabla 3), este es un halógeno muy reactivo que forma compuestos inorgánicos y orgánicos llamados fluoruros, tiene efectos adversos en la salud (reproducción, y genera osteosarcoma, hipotiroidismo y neurotoxicidad) cuando

se ingiere por vía oral. No obstante, la entrada de este químico con el agua se da por la fluoración del agua de abastecimiento público.⁽⁶¹⁾

Finalmente, entre los parámetros con mayor frecuencia de análisis están los cloruros (tabla 3), estos se encuentran en el agua como sales de calcio o magnesio y un alto contenido de cloruros puede causar corrosión en las tuberías metálicas y estructuras.⁽⁵⁸⁾

Tabla 3. Parámetros químicos inorgánicos analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI _{NSF}	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBAS	f
pH	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
Grasas y Aceites	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Nitrógeno total	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3
Amoniaco	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Nitritos	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3
Nitratos	1	1	0	1	1	0	1	1	1	7
Fosforo total	0	0	1	0	1	0	1	0	1	4
Fosfatos	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
Sulfatos	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Cloro	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Cloruros	0	1	0	1	0	0	0	1	0	3
Fluoruro	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3
Cianida-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Cianuro	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Calcio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Alcalinidad	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
Dureza	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
Arsénico	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3
Cadmio	0	0	0	1	1	0	1	0	1	4
Cromo	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Mercurio	0	0	0	1	1	0	1	0	1	4
Molibdeno	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Níquel	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Plomo	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Zinc Zn	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Boro	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Aluminio	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Cobre	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Hierro	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Aluminio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Manganeso	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Magnesio	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Sodio	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Selenio	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Total	3	5	3	18	9	0	14	17	16	

Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros químicos orgánicos analizados por los índices de calidad del agua

El principal parámetro de los químicos orgánicos analizado es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (tabla 4) y que permite comprobar si hay materia orgánica que puede ser degradada microbiológicamente. La cual obedece a que el COT es el parámetro más directo para evaluar la carga orgánica (carbono), aunque no puede estimar el consumo de oxígeno directamente. Y que la demanda química de oxígeno (DQO) determina el consumo de oxígeno en la digestión de la materia orgánica, no obstante, los nitritos, sulfitos y el ion ferroso que

también reaccionan con los reactivos (dicromato) y serán registrados como consumo de oxígeno por materia orgánica.⁽⁶²⁾

Adicionalmente, otros parámetros asociados a sustancias orgánicas y que son contaminantes del agua como hidrocarburos poli aromáticos (HPA), trihalometanos (THM), bifenilos policlorados (por sus siglas en inglés, PCBs), y fenoles se les hace seguimiento en una baja frecuencia a pesar de su importancia ambiental y de salud pública, tabla 4.

Tabla 4. Parámetros químicos orgánicos analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI _{NSF}	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBEA	f
COT	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
DQO	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
DBO	1	1	1	0	1	0	1	0	1	7
HPA	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
THM	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
PCBs	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Fenol	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	1	1	1	0	1	2	2	1	5	

Comparación cualitativa - Frecuencia y cantidad de parámetros asociados a plaguicidas analizados por los índices de calidad del agua

El seguimiento de plaguicidas es poco tenido en cuenta como parámetro y solo se da por los índices del IRCA y AMOEBA a pesar de su importancia para la salud pública. No obstante, el tema de los plaguicidas para el IRCA es evaluado como el con junto de dichas sustancias, tabla 5.

Tabla 5. Parámetros asociados a plaguicidas analizados por los índices de calidad

Parámetro	WQI _{NSF}	Dinius	ICAUCA	DWQI	UWQI	ISCA	IAP	IRCA	AMOEBEA	f
Plaguicidas	0	0	0	0	0	0	0	1*	1	1
Pesticidas organofosforados	0	0	0	0	0	0	0	1*	1	1
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	2	

Comparación cualitativa - Valores de referencia de los parámetros empleados el índice de calidad del agua (IRCA) y los estándares internacionales

A continuación, se presenta el análisis comparativo de los valores de los parámetros microbiológicos, físicos, químicos de naturaleza orgánica e inorgánica, plaguicidas y sustancias radioactivas indicados por la OMS, Europa, EPA-EEUU y Japón respecto al IRCA.

Limites admisibles para parámetros microbiológicos

Se observa que para la mayoría de los estándares (IRCA, OMS, Europa, y EPA-EEUU) se toma como parámetro de máxima exigencia a *E. coli* para la verificación de contaminación por materia fecal. No obstante, la mayoría de estándares y a excepción de Japón, contemplan dos indicadores para ampliar el espectro del análisis de riesgo a bacterias que puedan causar enfermedades diarreicas, en este caso se presentan análisis de *E. coli* y coliformes fecales o *E. coli* y Coliformes totales (tabla 6).

Solo la EPA - EEUU propone como parámetros de seguimiento sanitario y epidemiológico a *Cryptosporidium* y *Giardia* puesto que están asociadas enfermedades parasitarias y transmitidas por la contaminación del agua y materia fecal (tabla 6), adicionalmente son estándares para el control de protozoos de importancia media por sus brotes y donde Colombia tiene una prevalencia del 10,6 %.⁽⁶³⁾

El IRCA no contempla la determinación de *Clostridium* como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la EPA si lo contempla (tabla 6). No obstante, *Clostridium perfringens* se encuentra normalmente en suelos y aguas residuales y hace parte de la microflora intestinal humana y de animales, por tal razón es un parámetro que señala si hay contaminación fecal del agua, aborda la presencia de microorganismos patógenos

cuya determinación es costosa y difícil, y muestra la eficiencia de los procesos de filtración y desinfección del agua. Este microorganismo es el agente causal de enfermedades humanas como la gastroenteritis de origen alimentario y a la gangrena gaseosa. Y a partir de los criterios de calidad propuestos por la EPA en la actualización de 2015, se han adelantado estudios para estandarizar los procedimientos para su determinación y que cumplan con la Norma ISO 14189:2013 y los consignados en la Guía Técnica Colombiana, GTC 84 de 2003.⁽⁶⁴⁾

Adicionalmente, el IRCA no considera la determinación de *Legionella* como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la EPA si lo tienen en cuenta (tabla 6). No obstante, *Legionella pneumophila* se relaciona con brotes relacionados con sistemas hídricos artificiales deficientemente mantenidos (torres de enfriamiento o condensadores de evaporación utilizados para sistemas de acondicionamiento de aire y refrigeración industrial, sistemas de agua fría y caliente en edificios públicos y privados, y de recreación). *L. pneumophila* es el agente causal de un tipo de neumonía denominada la enfermedad del legionario.⁽⁶⁵⁾

Además, el IRCA no tiene entre los parámetros de seguimiento las Microcistinas como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la OMS y de Europa si lo contemplan (tabla 6). Las Microcistinas son toxinas producidas por diferentes especies de algas azul verdosas (cianobacterias de los géneros *Mycrocystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, y *Nostoc*) que crecen de forma anormal en aguas superficiales originando intoxicaciones tanto en animales como en humanos.⁽⁶⁶⁾ No obstante, la prevalencia de microcistinas no han sido reportadas por los informes epidemiológicos del Instituto Nacional de Salud.

Finalmente, el IRCA no tiene entre los parámetros de seguimiento las Microcistinas como parámetro de calidad del agua a pesar de que los estándares de la EPA si lo tienen en cuenta (tabla 6). Los colifagos somáticos es un indicador de la contaminación del agua cruda por heces humanas o animales o por agua residuales y la deficiencia de los sistemas de desinfección de agua tratada. Los colifagos somáticos se relacionan con el aumento de la incidencia de diarreas no bacterianas.⁽⁶⁷⁾

Tabla 6. Valores de referencia para parámetros microbiológicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA - EEUU	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Coliformes totales	UFC/100mL	0	ne	0	<5 % muestras + / mes	0
Coliformes fecales	UFC/100mL	ne	1	ne	1	ne
Enterococos intestinales	UFC/100mL	ne	ne	0	ne	ne
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100mL	0	0	0	1	ne
<i>Legionella</i>	UFC/100mL	ne	ne	ne	1	ne
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/100mL	ne	ne	ne	1	ne
<i>Cryptosporidium</i>	Ooquistes	0	ne	ne	99 % de eliminación	ne
<i>Giardia</i>	Quistes	0	ne	ne	99 % de eliminación	ne
Microcistina	ug/L	ne	1	1	ne	ne
Colifagos somáticos		ne	ne	ne	1	ne

Limites admisibles para parámetros físicos

Respecto a los estándares físicos se encuentra que la turbiedad el IRCA el parámetro es menos exigente en 1 NTU respecto a los estándares de la EPA y Japón, el Color esta de acuerdo a la EPA pero existen normatividades como la de Japón que exigen 10 unidades platino cobalto menos, los solidos disueltos totales no tienen un valor especificado en el IRCA no obstante los estándares de la EPA y Japón exigen hasta 500 mg/L, la conductividad para el IRCA es más restrictivo con un valor de 1000 uS/cm que el estándar europeos que tiene un valor de 2500 uS/cm, y las determinaciones de olor y sabor para el IRCA se basan en la apreciación de aceptable respecto a valor de 3 unidades de umbral de olor y 3 unidades de intensidad de olor que indica la EPA, tabla 7.

En este sentido el IRCA hace la determinación de los sólidos disueltos totales a partir de la conductividad y donde este parámetro es más restrictivo que los estándares nacionales. No obstante, los parámetros de turbiedad y color pueden ser más restrictivos asumiendo los valores de los estándares de la EPA y Japón.

Tabla 7. Valores de referencia para parámetros físicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Turbiedad	NTU	2	ne	ne	< 1 NTU medición diarias <0,3NTU el 95 % medición diaria del mes	1
Color	UPC	15	ne	ne	15	5
Sólidos disueltos totales	mg/L	ne	ne	ne	500	500
Conductividad	uS/cm	1000	ne	2500	ne	ne
Olor	TON	aceptable	ne	ne	3	3
Sabor	TIO	aceptable	ne	ne	3	ne

Limites admisibles para parámetros químicos inorgánicos

Para el IRCA el límite inferior de pH (pH=6,5) se alinea a los valores de los estándares europeos y de la EPA. No obstante, el límite superior del pH (pH=9) es menos restrictivo que el estándar de la EPA (pH=8,5) pero se ajusta a los valores europeos (pH=9,5) tabla 8.

Según los valores admisibles del IRCA, los parámetros de detergentes, bromato, plata, berilio, boro, clorato aluminio, talio y sodio no son considerados a pesar de que existen vales máximos admisibles según los estándares de internacionales. Así mismo los parámetros de cianuro, fluoruro, mercurio, níquel, zinc, antimonio, hierro y manganeso deben revisar el límite admisible puesto que los estándares internacionales proponen valores más restrictivos, tabla 8.

Según el IRCA, el estándar para cloro residual libre presenta un valor mayor (Cloro residual libre=5mg/L) que los estándares internacionales (Cloro residual libre= 1 - 4 mg/L), sin embargo dicho valor no es perjudicial para la salud y ayuda a garantizar la desinfección del agua tratada durante la conducción, tabla 8.

Tabla 8. Valores de referencia para parámetros químicos inorgánicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
pH		6,5-9	ne	6,5 - 9,5	6,5 - 8,5	Aprox7,5
Detergentes	mg/L	ne	ne	ne	0,5	0,2
Amoniaco	mg/L	ne	1,5	0,5	ne	ne
Nitritos	mg/L	0,1	3	0,5	ne	ne
Nitratos	mg/L	10	50	50	10	10
Fosfatos	mg/L	0,5	ne	ne	ne	ne
Sulfatos	mg/L	250	ne	250	250	ne
Cloro residual libre	mg/L	ne	5	ne	4	1
Cloruros	mg/L	250	ne	250	250	250
Fluoruro	mg/L	1	1,5	1,5	4	0,8
Bromato	mg/L	ne	0,01	0,01	0,01	ne
Cianuro	mg/L	0,05	ne	0,05	0,2	0,01
Calcio	mg/L	60	ne	ne	ne	10-100
Alcalinidad	mg/L	200	ne	ne	ne	ne
Dureza	mg/L	300	ne	ne	ne	300
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,005	0,005	0,01

Cromo	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
Mercurio	mg/L	0,001	0,006	0,001	0,002	0,0005
Magnesio	mg/L	36	ne	ne	ne	10-100
Molibdeno	mg/L	0,07	ne	ne	ne	0,07
Níquel	mg/L	0,02	0,07	0,02	ne	0,01
Plata	mg/L	ne	ne	ne	0,01	ne
Plomo	mg/L	0,01	0,01	0,01	ne	ne
Zinc	mg/L	3	ne	ne	5	1
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	0,05	0,006	0,02
Bario	mg/L	0,7	1,3	ne	2	ne
Berilio	mg/L	ne	ne	ne	0,004	ne
Boro	mg/L	ne	2,4	1	1	1
Aluminio	mg/L	0,2	ne	ne	ne	ne
Clorato	mg/L	ne	0,7	ne	ne	ne
Cobre	mg/L	1	2	2	1,3	1
Hierro	mg/L	0,3	ne	0,2	0,3	0,3
Aluminio	mg/L	ne	0,2	0,2	0,05-0,2	0,1
Manganeso	mg/L	0,1	0,1	ne	0,05	0,05
Talio	mg/L	ne	ne	ne	0,002	ne
Sodio	mg/L	ne	ne	200	ne	200
Selenio	mg/L	0,01	0,04	0,01	0,05	0,01

Limites admisibles para parámetros químicos orgánicos

Tabla 9. Valores de referencia para parámetros químicos orgánicos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
COT	mg/L	5	ne	ne	ne	ne
HAP	mg/L	0,01	ne	ne	ne	ne
THM	mg/L	0,2	ne	0,1	0,08	0,1
PCBs	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,0005	ne
Dioxinas	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,00000003	1
AHA	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,06	ne
Fenol	mg/L	0,0001*	ne	ne	ne	0,005
Benceno	mg/L	0,0001*	0,01	0,001	0,005	0,01
Bromoformo	mg/L	0,0001*	0,1	ne	ne	0,09
Diclorobenceno	mg/L	0,0001*	1	ne	0,075	0,3
Triclorobenceno	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,07	ne
Benzo (a) pireno	mg/L	0,0001*	0,0007	0,00001	0,0002	ne
dibromoclorometano	mg/L	0,0001*	0,1	ne	ne	0,1
bromodiclorometano	mg/L	0,0001*	0,02	ne	ne	0,03
diclorometano	mg/L	0,0001*	0,02	ne	0,005	0,02
cloroformo	mg/L	0,0001*	0,3	ne	ne	0,06
dicloroacetnitrilo	mg/L	0,0001*	0,02	ne	ne	0,01
1,2 dicloroetano	mg/L	0,0001*	0,03	0,003	0,005	0,004
Formaldehido	mg/L	0,0001*	ne	ne	ne	0,08

Tetracloruro de carbono	mg/L	0,0001*	0,004	ne	0,005	0,002
Tetracloroetano	mg/L	0,0001*	0,04	0,01	0,005	0,01
Tricloroetano	mg/L	0,0001*	0,02	0,01	0,005	0,3
Tolueno	mg/L	0,0001*	0,7	ne	1	0,4
Xileno	mg/L	0,0001*	0,5	ne	10	0,4
Cloruro de vinilo	mg/L	0,0001*	0,0003	0,0005	0,002	ne
Etilbencina	mg/L	0,0001*	0,3	ne	0,7	ne
Estireno	mg/L	0,0001*	0,02	ne	0,1	ne
monoclorobenceno	mg/L	0,0001*	ne	ne	0,1	ne
Epiclorhidrina	mg/L	0,0001*	0,0004	0,0001	ne	ne
hexaclorobutadieno	mg/L	0,0001*	0,0006	ne	ne	ne
Ácido etilen diamino tetra acético	mg/L	0,0001*	0,6	ne	ne	ne
Acrilamida	mg/L	0,0001*	0,0005	0,0001	ne	ne

Para el IRCA se destaca la bondad de tener como parámetro de seguimiento de la materia orgánica COT a pesar de que los estándares internacionales no lo sugieren (tabla 9). No obstante, debería ser acompañado de la determinación de la DQO o DBO, preferiblemente este último para ver la relación del Oxígeno disuelto, carga microbiana y materia orgánica.

Se hace necesario revisar el valor aceptable de THM en el IRCA (THM = 0,2mg/l), ya que los estándares internacionales tienen valores más restrictivos (THM= 0,08 a 0,1mg/L)

Se encuentran veinte y nueve (29) compuestos orgánicos a los cuales los estándares internacionales ya han reportado límites admisibles. No obstante, el IRCA no ha fijado un valor máximo admisible para cada uno de ellos. No obstante, el IRCA indica que se debe asumir un valor máximo aceptable la de 0,0001 mg/L⁽⁴¹⁾ para las siguientes características químicas: i) sustancias químicas reconocidas por el Ministerio de la Protección Social como cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, ii) sustancias químicas cuyo valor DL50 oral mínimo reconocido sea menor o igual a 20 mg/Kg, iii) sustancias catalogadas como extremada o altamente peligrosas del Ministerio de la Protección Social, iv) sustancias químicas de origen natural o sintético sobre las que se considere necesario aplicar normas de precaución, en el sentido de que a pesar de no poseer suficiente información científica, tabla 9.

Límites admisibles para parámetros químicos radioactivos

El IRCA no asume valores de seguimiento para sustancias radioactivas a pesar de que los estándares así lo indican, tabla 10. Sin embargo, a estos parámetros no se vería la necesidad de establecer valores admisibles puesto que las actividades realizadas en el territorio colombiano no implican la generación de dichos contaminantes.

Tabla 10. Valores de referencia para parámetros químicos radioactivos

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Uranio	mg/L	ne	0,03	ne	0,03	0,002
Partículas alfa	Bq/L	ne	0,1	ne	0,555	ne
Partículas beta	Bq/L	ne	1	ne	1,48	ne
Radio 226 y Radio 228	Bq/L	ne	ne	ne	0,185	ne
Tritio (³ H)	Bq/L	ne	ne	100	ne	ne

Límites admisibles para parámetros asociados a plaguicidas

Se encuentran cincuenta y ocho (58) plaguicidas a los cuales los estándares internacionales ya han reportado límites admisibles. No obstante, el IRCA no ha fijado un valor máximo admisible para cada uno de ellos. Sin embargo, el IRCA indica que la suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias, cuyo valor individual máximo admisible sea de 0,0001 mg/L podrá ser de 0,001 mg/L como máximo, sin que en ningún caso se excedan los valores individuales⁽⁴¹⁾, tabla 11.

Dado lo anterior, se hace necesario revisar este estándar general y asumir de forma individual un valor admisible por cada plaguicida. Adicionalmente, los plaguicidas de Aldrin, Clordano, Cianazina, 1,2 - dibromo - 3 - cloropropano, Endrin, 1,2-Dibromoetano, Dibromuro de etileno, Peptacloro, Epoxido de heptacloro, Lindano requieren que se revise el limite admisible aceptable puesto que están por encima de los valores de los estándares internacionales tabla 11.

Tabla 11. Valores de referencia para parámetros asociados a plaguicidas

Parámetro	Unidad	IRCA	OMS	EUROPA	EPA	Japón
		Índice de riesgo de agua potable	Armonización de los estándares de agua potable en las Américas 2005	Directiva 2020/2184/CE 2020	Criterios de calidad del agua ambiental para la salud humana: 2015	Ley de suministro de agua 2013
Plaguicidas	mg/L	0,0001*	ne	0,0005	ne	ne
Alaclor	mg/L	0,001**	0,02	ne	0,002	ne
Aldicarb	mg/L	0,001**	0,01	ne	ne	ne
Aldrin	mg/L	0,001**	0,00003	0,00003	ne	ne
Dildrin	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Atrazina	mg/L	0,001**	0,1	ne	0,003	ne
Bentazona	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,2
Carbofurano	mg/L	0,001**	0,007	ne	0,04	0,005
Clordano	mg/L	0,001**	0,0002	ne	0,002	ne
Clorotalonil	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,05
Clorotoluron	mg/L	0,001**	0,03	ne	ne	ne
Cianazina	mg/L	0,001**	0,0006	ne	ne	ne
Dalapón	mg/L	0,001**	ne	ne	0,2	ne
Ddt	mg/L	0,001**	0,001	ne	ne	ne
Diazinon	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,005
1,2 - dibromo - 3 - cloropropano	mg/L	0,001**	0,001	ne	0,0002	
Ácido 2,4 -diclorofenoxiacético	mg/L	0,001**	0,03	ne	0,07	0,03
1,2 - dicloropropano	mg/L	0,001**	0,04	ne	0,005	0,06
1,3 dicloropropano	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	
1,3 - dicloropropeno	mg/L	0,001**	0,02	ne	ne	0,002
Diclorvos	mg/L	0,001**	0,02	ne	ne	0,008
Dinoceb	mg/L	0,001**		ne	0,007	ne
Diquat	mg/L	0,001**	0,03	ne	0,02	ne
Alquitran endo	mg/L	0,001**	ne	ne	0,1	ne
Endrin	mg/L	0,001**	0,0006	ne	0,002	ne
1,2-dibromoetano, dibromuro de etileno	mg/L	0,001**	0,0004	ne	0,00005	ne
Fenitrotión	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,003
Glifosato	mg/L	0,001**	ne	ne	0,7	ne
Peptacloro	mg/L	0,001**	ne	0,00003	0,0004	ne
Epoxido de heptacloro	mg/L	0,001**	ne	0,00003	0,0002	ne
Hexaclorobenceno	mg/L	0,001**	ne	ne	0,001	ne
Isoproturon	mg/L	0,001**	0,009	ne	ne	ne
Lindano	mg/L	0,001**	0,002	ne	0,0002	ne
Molinar	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Oxamil	mg/L	0,001**	ne	ne	0,2	ne

Pentaclorofenol	mg/L	0,001**	0,009	ne	0,001	ne
Permetrina	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Picloram	mg/L	0,001**	ne	ne	0,5	ne
Propanilo	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Piridato	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Simazina	mg/L	0,001**	0,002	ne	0,004	0,003
Terbutilazina	mg/L	0,001**	0,007	ne	ne	ne
Toxafeno	mg/L	0,001**	ne	ne	0,003	ne
Trifluralina	mg/L	0,001**	0,02	ne	ne	ne
2,4-db	mg/L	0,001**	0,09	ne	ne	ne
Dicloroprop	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
Fenoprop	mg/L	0,001**	0,009	ne	0,05	ne
Mcpb	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	ne
2,4,5-t	mg/L	0,001**	0,009	ne	ne	ne
Tiuram	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,006
Tiobencarb	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,02
Isoxatión	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,008
Isoprotiolano	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,04
Propizamida	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,05
Fenobucarb	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,03
Clornitrofenol	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,005
Iprobenfos	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,008
Epn	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,006
Triclopir	mg/L	0,001**	ne	ne	ne	0,006
Pesticidas organofosforados	mg/L	0,0001*	ne	0,0001	ne	ne

Comparación cuantitativa - Valores de referencia e índices de calidad del agua

Teniendo en cuenta los valores de referencia comunes para los límites admisibles de calidad de aguas descritos para el IRCA, se presentan a continuación el cálculo de los demás índices (WQINSF, Dinius, ICAUCA, DWQI, UWQI, ISCA, IAP, y AMOEBA) teniendo en cuenta sus métodos de cálculo y asumiendo valores que para el IRCA se tienen como no admisibles.

Comparación cuantitativa - IRCA vs WQINSF

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Puntaje IRCA	Qvalor (Qi)	Ponderación (Wi)	Qi*Wi
Turbiedad	2	UNT	3	15	91,9	0,08	7,4
pH	6,5 -9	H3O ⁺	6,4	1,5	46,3	0,077	3,6
Fosfatos	0,5	mg PO ₄ ³⁻ / L	0,6	1	56,1	0,1	5,6
Nitratos	10	mg NO ₃ ⁻ / L	11	1	49,2	0,09	4,4
Coliformes totales	0	UFC / 100 cm ³	1	15	137,6	0,09	12,4
Valor del Índice IRCA				33,5	Valor del Índice WQI _{NSF}		33,3
Nivel de riesgo medio						Mala	

Los dos índices tienen en común los parámetros de turbiedad, pH, fosfatos, nitratos y coliformes totales. El índice WQINSF arroja un valor numérico del índice similar al del IRCA, tienen en común que los parámetros de mayor relevancia en su orden son coliformes totales y turbiedad, tabla 12. No obstante, hay que considerar que en la comparación no se emplea los parámetros de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y de DBO

del índice WQINSF, parámetros que según su peso aportan el 17 % y 11 % del análisis a la calidad del agua. A su vez, no se considera E. coli y el cloro residual libre del índice IRCA que según su peso aporta el 25 % y 15 % respectivamente del análisis a la calidad del agua.

Comparación cuantitativa - IRCA vs Dinius

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, pH, alcalinidad total, dureza total, cloruros, nitratos y coliformes totales. El índice Dinius presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma decreciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua, tabla 13.

No obstante, si se considera que la clasificación del índice de Dinius se hace sobre una base de 100 puntos, se puede realizar la resta a los 100 puntos el valor de Dinius dando un valor de 95,8, indicando que para los parámetros calculados son escasos dentro de un modelo aditivo y por tal razón la clasificación del agua está baja si se consideran solo los parámetros entre ambos indicadores.

Ambos índices tienen en común que los parámetros de mayor relevancia a coliformes totales, seguido pH y alcalinidad total y nitratos en su orden. No obstante, hay que considerar que en la comparación no se emplea los parámetros de coliformes fecales, OD y DQO del índice de Dinius, parámetros que según su peso aportan el 11,6 %, 10,9 % y 9,7 % del análisis a la calidad del agua. A su vez, no se considera E. coli y el cloro residual libre del índice IRCA que según su peso aporta el 25 % y 15 % respectivamente del análisis a la calidad del agua.

Tabla 13. Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs Dinius para sus parámetros comunes

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Puntaje IRCA	Qvalor (Ii)	Ponderación (Wi)	Ii ^{Wi}
Color aparente	15	UPC	16	6	54,3	0,063	1,3
pH	6,5	H3O ⁺	6,4	1,5	2,2	0,077	1,1
Alcalinidad total	200	mg CaCO ₃ / L	201	1	35,8	0,077	1,3
Dureza total	300	mg CaCO ₃ / L	301	1	39,4	0,063	1,3
Cloruros	250	mg Cl ⁻ / L	251	1	28,2	0,065	1,2
Nitratos	10	mg NO ₃ ⁻ / L	11	1	3,6	0,074	1,1
Coliformes totales	0	UFC/100 cm ³	1	15	27,3	0,090	1,3
Valor del Índice IRCA				26,5	Valor del Índice Dinius	4,2	
Nivel de riesgo medio					Muy Mala		

Comparación cuantitativa - IRCA vs DWQI

Tabla 14. Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs DWQI

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Rango de exceso	Suma normalizada de excesos	Amplitud	Alcance	Frecuencia
Color aparente	15	UPC	16	6	0,1	0,85	45,84	22,73	8,33
Turbiedad	2	NTU	3	15	0,5				
Cloro residual libre	2	mg/L Cl ₂	2,1	15	0,1				
Coliformes totales	0	UFC/100 cm ³	1	15	9,0				
E. coli	0	UFC/100 cm ³	1	25	9,0				
Valor del Índice IRCA				76,0		Valor del Índice DWQI			70,1
Nivel de riesgo alto						Regular			

Para comparar esta determinación se asumió los parámetros más relevantes del IRCA (Color aparente, Turbiedad, Cloro residual libre, Coliformes totales, y E. coli) para una (1) determinación de doce (12) muestras de calidad del agua, ya que el índice DWQI considera los parámetros de cada normatividad propia al sitio donde se hacen las determinaciones, verificando el porcentaje de variables que tienen valores fuera los límites admisibles (alcance), la relación entre los valores de los datos del índice fuera de los rangos respecto al número de determinaciones (frecuencia), y que tan alejadas están las determinaciones de cada parámetro (deficiencia de calidad del agua) respecto a los estándares (amplitud).

En este sentido los valores del índice DWQI es cercano al del IRCA puesto que para ambos utiliza el mismo estándar (Decreto 2115 de 2007), y el índice arroja valores distintos por la frecuencia en que las determinaciones con mala calidad (niveles de riesgo bajo, medio, alto e inviable sanitariamente) se presentan en las determinaciones en un periodo de tiempo y que tan distintas las determinaciones de los valores del estándar, tabla 14.

Comparación cuantitativa - IRCA vs ISQA

Dado que los parámetros que evalúa ISQA son temperatura, DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad no se puede realizar la comparación entre los dos índices ya que el IRCA no considera estos parámetros según el Decreto 2115 de 2007.

Comparación cuantitativa - IRCA vs IAP

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, turbiedad, manganeso, zinc, e hierro total. El índice IAP presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma decreciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua tabla 15.

En este sentido, los valores entre los dos índices son distintos ya que la gran mayoría de los parámetros que considera el índice IAP para sacar los indicadores tanto de sustancias tóxicas (ST) y sustancias orgánicas (SO) no son considerados por el IRCA siendo estos trihalometanos, cadmio, cromo, plomo, níquel, mercurio, clorocromato de piridino, para el primer indicador y cobre, para el segundo indicador. Así mismo, tampoco se consideran dentro de la comparación los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, nitrógeno total, fósforo total, sólidos el indicador IQA - CETESB, indicador que pertenece al índice del IAP tabla 15.

Tabla 15. Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs IAP

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Calidad (qi)	Ponderación (wi)	IQA CETESB	Sustancias Tóxicas (ST)	Sustancias Organolépticas (SO)	ISTO (ST*SO)
Color aparente	15	UPC	16	6	80	0,08	8,52			
Turbiedad	2	NTU	3	15	50	0,12				
Manganeso	1	mg Mn/L	0,2	1,0				0,53	0,81	0,43
Zinc	1	mg Zn/L	5,5	1,0						
Hierro total	1,5	mg Fe/L	0,4	1,5						
Valor del Índice IRCA				24,5			Valor del Índice IAP (ISTOxIQA CETESB)			3,64
Nivel de riesgo medio							Pésimo			

Comparación cuantitativa - IRCA vs AMOEBA (Índice de contaminación por nutrientes (NPI Nutrient pollution index))

Ya que el proyecto AMOEBA comprende varios índices para sacar una representación de la calidad respecto a diferentes aspectos, el índice que se puede emplear es el del índice de contaminación por nutrientes, ya que tienen en común la turbiedad, pH, fosfatos, nitratos y nitritos. En este caso, el índice AMOEBA-NPI supera el valor deseable con estos parámetros, tabla 16. No obstante, no se considera amonio, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a, y conductividad, y al calcularse sobre la totalidad de los parámetros el indicador da un resultado pequeño.

Tabla 16. Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs AMOEBA

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Calidad (qi)	Ponderación (wi)	Ln qi^Wi
Turbiedad	2	UNT	3	15	99,2	0,2	0,92
pH	6,5 -9	H3O+	6,4	1,5	94,4	0,2	0,91
Fosfatos	0,5	mg PO43- /L	0,6	1	100,1	0,2	0,92
Nitratos	10	mg NO3-}/L	11	1	72,9	0,2	0,86
Nitritos	0,1	mg NO3-/L	0,2	3	99,5	0,2	0,92
Valor del Índice IRCA				21,5	Valor del Índice AMOEBA -NPI		92,6
Nivel de riesgo medio							92,6/70

Comparación cuantitativa - IRCA vs UWQI

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, pH, Nitratos, y Coliformes totales. El índice UWQI presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma de creciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua tabla 17.

Adicionalmente, el índice UWQI contempla otros parámetros que el IRCA no asume como cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, nitrógeno, OD, pH, DBO, y fósforo total, y al calcularse sobre la totalidad de los parámetros el indicador da un resultado pequeño.

Tabla 17. Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs UWQI

Parámetro	Valor máximo	Unidades	Valor de prueba	Aporte al IRCA (%)	Qvalor (Li)	Ponderación (Wi)	Qi*Li
pH	6,5 -9	H3O+	6,4	1,5	46,3	0,029	3,6
Nitratos	10	mg NO3-/L	11	1	63,6	0,086	4,4
Coliformes totales	0	UFC /100 cm3	1	15	137,6	0,114	12,4
Valor del índice IRCA				17,5	Valor del índice UWQI		20,4
Nivel de riesgo medio					Pobre		

Comparación cuantitativa - IRCA vs ICAUCA

Los dos índices tienen en común los parámetros de color aparente, pH, y Coliformes totales. El índice ICAUCA presenta un valor numérico distinto al del IRCA, donde el índice presenta su clasificación de calidad de forma creciente, donde valores bajos se asocian a mala calidad del agua y valores altos a buena calidad del agua. Por otro lado, el IRCA presenta su clasificación de calidad de forma de creciente, donde valores bajos se asocian a buena calidad del agua y valores altos a mala calidad del agua, tabla 18.

Adicionalmente, el índice ICAUCA contempla otros parámetros que el IRCA no asume como DBO, turbiedad, %OD, sólidos totales, pH, coliformes totales, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos totales, y al calcularse sobre la totalidad de los parámetros el indicador da un resultado pequeño.

Tabla 18. Comparativo de los índices de calidad del agua IRCA vs ICAUCA

Parámetro	Unidades	Valor de prueba	Valor máximo	Aporte al IRCA (%)	Qvalor (li)	Ponderación (Wi)	li^Wi
Color aparente	UPC	16	15	6	65,4	0,05	1,2
pH	H3O+	6,4	6,5	1,5	574570061	0,08	5,0
Coliformes totales	UFC/100 cm3	1	0	15	96,4	0,15	2,0
Valor del índice IRCA				22,5	Valor del índice ICAUCA		12,3
Nivel de riesgo medio					Pésima		

Evaluación de las enfermedades vehiculizadas por el agua respecto al IRCA

De acuerdo con el Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano de 2022 (INCA) se realizan estimaciones de casos de EDA por consumo de agua dietaria a partir de los datos del SIVICAP aplicando modelos probabilísticos para Coliformes totales, E coli, Giardia spp y Cryptosporidium.y Hepatitis A, tabla 19.

Tabla 19. Comparativo entre los parámetros microbiológicos analizados por el IRCA vs las determinaciones de los agentes causales de enfermedades diarreicas agudas INCA (2022)

Agente etiológico	Estadística	Parámetros del IRCA
Coliformes totales	28,6 % de los valores (60 de 210 resultados) ⁽⁶⁸⁾	Si
E. coli	28,6 % de los valores (22 de 210 resultados) ⁽⁶⁸⁾	Si
Giardia spp	28,6 % de los valores (10 de 210 resultados) ⁽⁶⁸⁾	Si*
Cryptosporidium	7 % de los valores (60 de 210 resultados) ⁽⁶⁸⁾	Si*
Hepatitis A.	12,7 % de los Municipios reportan infecciones ⁽⁶⁸⁾	No

Análisis los posibles contaminantes emergentes según el listado del CAS para ser considerados como parámetros del IRCA

De los 1 079 191 números CAS para compuestos químicos, polímeros, preparados y aleaciones⁽⁶⁹⁾ no se encuentra ninguna dentro de los parámetros de seguimiento del IRCA de forma directa, algunas de ellas se ha determinado su riesgo, otras está en estudio su peligrosidad y otras se desconoce su riesgo.

Según el registro nacional de plaguicidas se encuentran 3507 productos comerciales distintos para plaguicidas y 71 productos reguladores fisiológicos⁽⁷⁰⁾ de los cuales ninguno se encuentra contemplado por el IRCA.

CONCLUSIONES

Los parámetros más comunes dentro del análisis de agua comprenden parámetros microbiológicos como coliformes fecales, considerándose un parámetro que debería comprender el IRCA ya que la determinación sería más específica a evaluar microorganismos asociados a la contaminación del agua con materia fecal, y que por el contrario los coliformes totales abarcan una serie de microorganismos no relacionados con enfermedades diarreicas agudas.

También se encuentran los parámetros físicos más frecuentes la temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y conductividad. No obstante, no se considera pertinente la temperatura por la dificultad que cambie un cuerpo de agua su temperatura. Los sólidos disueltos por poderse medir por medio de la conductividad tampoco se consideran relevantes. Adicionalmente, es importante incluir el OD para evaluar el grado de eutrofización de las aguas debido a la actividad microbiana que degrada la materia orgánica, y complementaria a los parámetros microbiológicos y la DBO.

Los parámetros químicos de tipo inorgánico más predominantes son el pH, nitratos y fósforo total, donde los dos primeros los considera el IRCA y el último engloba todas las especies fósforo. Dado lo anterior, y conociendo que el fosfato se forma a partir del fósforo inorgánico y que es la especie la especie más abundante se debe mantener y es un indicador de contaminación por agroinsumos.

Adicionalmente, dentro de los parámetros químicos inorgánicos más analizados se están el Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc y Cobre, y que deben ser considerados en el análisis de la contaminación del agua con metales pesados.

Por otro lado, los parámetros de cianuro, fluoruro, mercurio, níquel, zinc, antimonio, hierro y manganeso deben revisarse si el límite admisible puede ser más restrictivo ya que los estándares internacionales así lo proponen.

Dentro de los parámetros químicos orgánicos mayormente analizados está la DBO, la cual se considera que debe ser incluida ya que permite comprobar si hay materia orgánica que puede ser degradada microbiológicamente, adicionalmente es complementaria a los parámetros microbiológicos y el OD.

Finalmente, los estándares internacionales reportan veinte y nueve (29) compuestos orgánicos respecto a las sustancias orgánicas asociadas a plaguicidas con límites admisibles y que deben ser considerados en el análisis de agua.

Además, se hace necesario revisar los límites admisibles de los plaguicidas de Aldrin, Clordano, Cianazina, 1,2 - dibromo - 3 - cloropropano, Endrin, 1,2-Dibromoetano, Dibromuro de etileno, Peptacloro, Epóxido de heptacloro, Lindano puesto que los estándares internacionales fijan valores más estrictos que los establecidos para plaguicidas por el IRCA.

Los informes de calidad de agua e epidemiológicos muestran que los parámetros comúnmente analizados en agua son Coliformes totales, E.coli, Giardia spp y Cryptosporidium. No obstante, los estándares internacionales empiezan a analizar colifagos somáticos, ya que se encuentran muchas EDAs producidos por virus. Así mismo, de acuerdo con la incidencia de la Hepatitis A se considera como parámetro de calidad del agua. Por tanto, se considera que tanto colifagos y hepatitis A deberían considerarse por el IRCA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Suárez S, Molina E. El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. Rev Cubana Hig Epidemiol. 2014;52(3):357-63.

2. Arias J. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Rev Investig Agrar Ambient*. 2017;8(1):151-67.
3. Ahmed M, Matsumoto M, Ozaki A, Thinh NV, Kurosawa K. Heavy metal contamination of irrigation water, soil, and vegetables and the difference between dry and wet seasons near a multi-industry zone. *Water*. 2019;11(3):583. <https://doi.org/10.3390/w11030583>
4. Manoj S, Thirumurugan M, Elango L. An integrated approach for assessment of groundwater quality in and around uranium mineralized zone, Gogi region, Karnataka, India. *Arab J Geosci*. 2017;10(24):557. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3321-5>
5. Jawad M, Arslan M, Siddique M, Ali S, Tahseen R, Afzal M. Potentialities of floating wetlands for the treatment of polluted water of river Ravi, Pakistan. *Ecol Eng*. 2019;133:167-76. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.022>
6. Bhuiyan A, Dampare B, Islam A, Suzuki S. Source apportionment and pollution evaluation of heavy metals in water and sediments of Buriganga River, Bangladesh, using multivariate analysis and pollution evaluation indices. *Environ Monit Assess*. 2015;187(4075):1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4075-0>
7. Zhang J, Li H, Zhou Y, Dou L, Cai L. Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: a case study in the Pearl River Delta, South China. *Environ Pollut*. 2018;235:710-9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.106>
8. Sabogal L. El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua. Cali: Universidad del Valle; 2000.
9. Rojas R. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. 2002.
10. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Sección 2. Evaluación y manejo del riesgo. En: Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. 2001. p. 46.
11. Guerra C. Ponderación de los riesgos de origen microbiano y químico en la desinfección del agua potable: la perspectiva panamericana. *Bol Oficina Sanit Panam*. 1993;115:451-4.
12. World Health Organization (WHO). Conquering suffering, enriching humanity. The world health report 1997. Geneva: WHO Graphics; 1997. p. 157.
13. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El medio ambiente en Colombia. Bogotá: IDEAM; 2001.
14. Fernández N, Solano F. Índices de calidad y contaminación del agua. Pamplona: Universidad de Pamplona; 2008.
15. González T, Osorio I, Riascos A. Evaluación del proceso de reporte del IRCA a las plataformas SUI y SIVICAP web desde el marco del INCA en los años 2016-2019, caso de estudio: Magdalena, zona bananera. *Encuentro Int Educ Ing*. 2019.
16. Ministerio de Salud y Protección Social. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano. 2021. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2021.pdf>
17. Instituto Nacional de Salud. Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia. 2019. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/estado-de-la-vigilancia-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-en-colombia-2019.pdf>
18. Carrasco D, Delgado Y, Cobos F. Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Emerging contaminants and its impact on the health*. *Rev Fac Cienc Méd Univ Cuenca*. 2017;35(2):55-9.
19. González T, Osorio I, Riascos A. Evaluación del proceso de reporte del IRCA a las plataformas SUI y SIVICAP web desde el marco del INCA en los años 2016-2019, caso de estudio: Magdalena, zona bananera. *Encuentro Int Educ Ing*. 2019.

20. García C, García J, Rodríguez J, Pacheco R, García M. Limitaciones del IRCA como estimador de calidad del agua para consumo humano. *Rev Salud Pública*. 2018;20:204-7.
21. Cruz A, Rodríguez L. Análisis de los índices de riesgo de calidad de agua potable (IRCA) en Boyacá entre 2016-2019. *Agricolae Habitat*. 2021;4(1).
22. Romero J, Ibarra N. Valoración del índice de calidad del agua cruda (ICA), del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), del índice de tratamiento (IT), del índice de continuidad (IC) y del índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano por prestador (IRABAPP), para el periodo 2010-2011, de sistemas de tratamiento de agua potable. *Rev Esc Colomb Ing*. 2013;23(92):13-22.
23. Briñez K, Guarnizo C, Arias A. Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Rev Fac Nac Salud Pública*. 2012;30(2):175-82.
24. Enríquez C, Torres A, Enciso F. Comportamiento del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano y demanda de agua en el acueducto Yamboró, Pitalito - Huila. *Rev Investig Agroempresariales*. 2020;7.
25. Torres M, de Navia L. Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *Nova*. 2010;8(14).
26. Candelario M, Pinto L. Evaluación del agua para consumo humano utilizando el índice de riesgo de la calidad del agua en el municipio de Puerto Nariño (Amazonas). *Agricolae Habitat*. 2023;6(2):27-40.
27. González L. Evaluación del índice de riesgo de calidad de agua (IRCA) para la mejora de las condiciones de calidad del sistema de potabilización del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá-Boyacá. 2020.
28. Doncel J, Florex C. QIRCA: complemento de QGIS para calcular índices de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-IRCA. 2018.
29. Torres F, Carvajal A. Cobertura de acueducto y alcantarillado, calidad del agua y mortalidad infantil en Colombia, 2000-2012 (No. 012228). Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE; 2014.
30. Jiménez L, Ramos J, Guio P. Análisis del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano-IRCA y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento del Tolima en los años 2012-2013. *Publicaciones Investig*. 2016;10:69-81.
31. Jiménez C. Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Rev Lasallista Investig*. 2011;8(2):143-53.
32. Jank L, Hoff R, Costa F, Pizzolato T. Simultaneous determination of eight antibiotics from distinct classes in surface and wastewater samples by solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography electrospray ionisation mass spectrometry. *Int J Environ Anal Chem*. 2014;94(10):1013-37.
33. Spongberg A, Witter J, Acuña J, Vargas J, Murillo M, Umaña G, et al. Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rica surface waters. *Water Res*. 2011;45(20):6709-17.
34. Estrada E, Cortés J, González A, Calderón C, de Rivera M, Ramírez E, et al. Assessment of full-scale biological nutrient removal systems upgraded with physico-chemical processes for the removal of emerging pollutants present in wastewaters from Mexico. *Sci Total Environ*. 2016;571:1172-82.
35. Bujanow D, Pérez V, Gavilán J, Luis J. Estudio sobre la presencia y distribución de contaminantes emergentes en los acuíferos detríticos del río Guadalupe. En: Unidos por el agua. Huelva: Club del Agua Subterránea; 2018. p. 701-8.
36. Vadillo I, Jiménez P, Aranda J, Denguir F, Luque J, Benavente J. Presencia y distribución de contaminantes emergentes en cuatro cuencas antropizadas del sur de la Península Ibérica. 2018.

37. Meléndez J, García Y, Galván V, de León LD, Vargas K, Mejía J, Ramírez RF. Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Rev Salud Ambient.* 2020;20(1):53-61.
38. Martínez I, Soto J, Lahora A. Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Ecosistemas.* 2020;29(3):2070.
39. Ramírez L, Chicaiza S, Ramos A, Álvarez C. Detección de antibióticos betalactámicos, tetraciclinas y sulfamidas como contaminantes emergentes en los ríos San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui. *LA GRANJA Rev Cienc Vida.* 2019;30(2):88-102.
40. Tabora D, Venegas W. Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua para consumo humano de la quebrada La Hoya en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca. 2016.
41. Ministerio de Salud y Protección Social. Programa nacional de prevención, manejo y control de la infección respiratoria aguda y la enfermedad diarreica aguda. 2023. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/programa-nacional-ira-eda-2023.pdf>
42. Universidad de Pamplona. Capítulo II. Indicadores de calidad del agua. Generalidades. Disponible en: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf
43. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2007.
44. Sutadian A, Muttill N, Yilmaz A, Perera J. Development of river water quality indices—a review. *Environ Monit Assess.* 2016;188:1-29.
45. Ardila N, Arriola E. Efecto de la quema de llantas en la calidad del agua de un tramo de la quebrada Piedras Blancas. *Tecnol Cienc Agua.* 2017;8(5):39-55.
46. Balmaseda C, García Y. Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Rev Cienc Téc Agropecu.* 2014;23(3):11-6.
47. de Bustamante J, Sanz J, Goy J. Estudio de la calidad de las aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila. Aplicaciones del índice ISQA. 2002. Disponible en: <https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/Geo31/Art26.pdf>
48. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Apêndice E. Índices de qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes. 2021. Disponible en: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>
49. Fernández S. Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Capítulo III. Pamplona: Universidad de Pamplona; 2005.
50. Boyacioglu H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water SA.* 2007;33(1):101-6.
51. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Dirección Técnica Ambiental. Objetivos de calidad del río Cauca - tramo Valle del Cauca. Documento técnico de soporte. 2023. Disponible en: <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2023-06/Res.%200298%20de%202023-%20Objetivos%20de%20calidad%20del%20r%C3%ADo%20Cauca%20-%20Tramo%20Valle%20del%20Cauca.pdf>
52. Pachés A. Contaminantes emergentes. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2020.
53. Bofill S, Clemente P, Albiñana N, Maluquer C, Hundesa A, Girones R. Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Rev Esp Salud Pública.* 2005;79:253-69.
54. Becerril J. Optimización de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes emergentes en aguas de abastecimiento y residuales. 2012.

55. Gómez O. Enfermedad diarreica aguda por *Escherichia coli* enteropatógenas en Colombia. *Rev Chil Infectol*. 2014;31(5):577-86.
56. Chaves D, Fernández J, Ospina I, López M, Moncada L, Reyes P. Tendencia de la prevalencia y factores asociados a la infección por *Giardia duodenalis* en escolares y preescolares de una zona rural de Cundinamarca. *Biomédica*. 2007;27(3):345-51.
57. Ekici A, Yilmaz H, Beyhan YE. Prevalencia de la criptosporidiosis en seres humanos y terneros, y detección molecular del *Cryptosporidium parvum*. *Rev MVZ Córdoba*. 2022;27(2):1-9.
58. Pérez E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Rev Tecnol Marcha*. 2016;29(3):3-14.
59. Bolaños J, Cordero G, Segura G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Rev Tecnol Marcha*. 2017;30(4):15-27.
60. Pabón S, Benítez R, Sarria R, Gallo J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Cienc Ing*. 2020;14(27):9-18.
61. Jiménez A, Santa L, Otazua M, Ayerdi M, Galarza A, Gallastegi M, et al. Ingesta de flúor a través del consumo de agua de abastecimiento público en la cohorte INMA-Gipuzkoa. *Gac Sanit*. 2018;32(5):418-24.
62. Menéndez C, Dueñas J. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ing Hidrául Amb*. 2018;39(3):97-107.
63. Instituto Nacional de Salud. Informe técnico de vigilancia por laboratorio de *Cryptosporidium spp.* y *Giardia spp.* en aguas. 2019. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informacin%20de%20laboratorio/Informe-t%C3%A9cnico-de-vigilancia-por-laboratorio-de-Cryptosporidium-spp-y-Giardia-spp-en-aguas.pdf>
64. López L, Sánchez M, Baena M, González M, Urhán J. Verificación del método para la detección y cuantificación de *Clostridium perfringens* en agua potable mediante filtración por membrana. *Rev Politéc*. 2016;12(23):83-9.
65. Ramírez L, Londoño A. Estado del arte de la *Legionella pneumophila* en aguas termales. *Encuentro Int Educ Ing*. 2020.
66. Avendaño A, Arguedas C. Microcistina en plantas de tratamiento de agua para consumo humano en un ambiente tropical: el Área Metropolitana de Costa Rica. *Rev Biol Trop*. 2006;54(3):711-6.
67. Jiménez L, Barquero M, Jiménez K, Álvarez CV, Alvarado DM, Lizano LR, Achí R. Relación entre la presencia de colifagos en agua para consumo humano, las lluvias y las diarreas agudas en Costa Rica. *Rev Costarric Salud Pública*. 2015;24(2):160-7.
68. Ministerio de Salud y Protección Social. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano INCA 2022. 2022. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-colombia-2022.pdf>
69. CymitQuímica. Números CAS. 2023. Disponible en: <https://cymitquimica.com/es/cas/>
70. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Registros nacionales de plaguicidas y reguladores fisiológicos. 2023. Disponible en: https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/publicacion-bd_rn_rf_-31-mar-2022-1.aspx

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez.

Curación de datos: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez.

Análisis formal: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez.

Redacción - borrador original: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez.

Redacción - revisión y edición: José Luis Guataquira Rincón, René Ricardo Cuéllar Rodríguez.